



IV-036 - BALANÇO HÍDRICO: UMA FERRAMENTA PARA GESTÃO INDUSTRIAL E OTIMIZAÇÃO AMBIENTAL

Leonardo Silva de Souza⁽¹⁾

Mestrando em Engenharia Química(UFBA). Pesquisador da Rede Teclim.

Bárbara Virgínia Damasceno Braga⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Química (UFBA).Bolsista da Rede Teclim.

Asher Kiperstok⁽¹⁾

PhD em Engenharia Química, Tecnologias Ambientais.Prof.Associado da Escola Politécnica/UFBA-DeptºEng.Ambiental.Coordenador da Rede Teclim.

Ricardo de Araújo Kalid⁽¹⁾

Doutor em Engenharia Química.Prof.Adjunto da Escola Politecnica/UFBA-DeptºEng.Química.Vice-coordenador da Rede Teclim.

Emerson Andrade Sales⁽¹⁾

Doutor em Ciências/Engenharia Química.Prof.Associado do Instituto de Química (UFBA).Pesquisador da Rede Teclim.

Endereço⁽¹⁾: Rua Aristides Novis, 02 - Federação - Salvador - BA - CEP: 40210-630 - Brasil - Tel: (71) 3283-9892 – (71)3235-4436 site: www.teclim.ufba.br

RESUMO

A necessidade de se atingir a sustentabilidade no consumo dos recursos hídricos, exige maior atenção nas formas de utilização da água. Assim, é de fundamental importância para as indústrias a adoção de estratégias que busquem maneiras de preservá-los para evitar uma situação de escassez. O balanço hídrico é uma ferramenta computacional que identifica as vazões de entrada e saída de água em um determinado período de tempo, a partir do mapeamento das vazões e das qualidades de informação dessas estimativas e/ou medições, que representa o grau de incerteza da medida ou estimativa. Essa ferramenta possibilita uma melhor gestão do uso da água nas empresas. Com as atualizações feitas no Balanço Hídrico foi possível melhorar o conhecimento do fluxo de água em unidades industriais, permitindo, após a reconciliação dos dados, tomar decisões mais confiáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Balanço Hídrico, Qualidade de Informação, Reconciliação de Dados, Otimização Ambiental.

INTRODUÇÃO

Uma urgência ambiental visível para as plantas industriais é a necessidade de economia de água devido à previsão de sua futura escassez para consumo humano e para fins industriais. Neste aspecto, há a concordância de ações nos diversos setores da sociedade em relação à busca de novos caminhos para redução do consumo da água e diminuição no desperdício da mesma. Na situação atual das indústrias petroquímicas, não é dado o devido valor à questão do consumo da água devido ao baixo custo, em consequência disso não há uma medição consistente dos dados de correntes aquosas (Kiperstok et al, 2003) impossibilitando atribuir incertezas consistentes aos dados e dificultando sua gestão.

Nas indústrias não há preocupação em medir as correntes aquosas, tendo basicamente uma medição de entrada e outra de saída. Assim faltam parâmetros que possibilitem medir o grau de incerteza em relação à medida. O uso da reconciliação de dados em sistemas com pouca medição se torna inviável, isso devido à impossibilidade de associar à medida uma incerteza padrão, como é exigido na metodologia estabelecida (Narasimhan, 2000). Assim, para viabilizar a reconciliação dos dados no Balanço Hídrico foi desenvolvido o conceito de Qualidade de Informação.

O Balanço Hídrico foi desenvolvido com o auxílio de técnicas computacionais de baixo custo que proporciona o conhecimento mais geral do consumo de água na indústria e reduz significativamente os gastos com esse recurso. Junto à aplicação dos conceitos de Produção Mais Limpa (P+L) e de gerenciamento de recursos ambientais, esse trabalho propõe-se a mostrar uma metodologia para o gerenciamento dos recursos hídricos em fábricas e indústrias, no que se refere à redução do consumo de água e da geração de efluentes. Esse



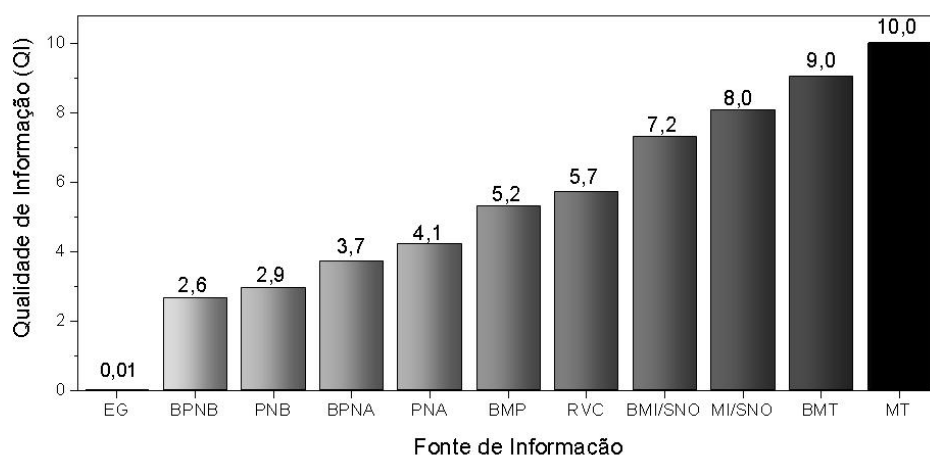
projeto foi desenvolvido dentro da unidade de tratamento de água numa indústria petroquímica localizada no município de Camaçari-Bahia, com o intuito de fornecer aos responsáveis pelo gerenciamento de recursos hídricos uma ferramenta demonstrativa dos dados de consumo de água, em curto espaço de tempo e com uma maior frequência, possibilitando um melhor monitoramento dos mesmos (Kiperstok et al, 2003).

Este trabalho está estruturado em sete seções incluído esta Introdução. Na Fundamentação Teórica serão detalhados os conceitos da reconciliação de dados e da Qualidade de Informação (QI). Na terceira seção é apresentada a metodologia do Balanço Hídrico. Na seção Resultados e Discussões estão apresentados e discutidos os resultados da implantação do Balanço Hídrico na unidade de tratamento de água de uma empresa petroquímica. Na quinta seção estão apresentadas as conclusões obtidas. Nas duas últimas seções estão os agradecimentos e referências bibliográficas, respectivamente.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

QUALIDADE DE INFORMAÇÃO

Incerteza é o parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando, quantidade particular submetida à medição. (Bich, 2007). Nas indústrias, a maioria das incertezas das medidas não é conhecida. Para tornar viável o uso dos resultados do Balanço Hídrico nas decisões gerenciais da empresa foi necessário desenvolver uma ferramenta que possibilitasse a reconciliação das medidas no Balanço Hídrico. Para isso foi desenvolvida a Qualidade de Informação ou QI, uma ferramenta que associada ao valor de uma medida indica a faixa de certeza na qual foi obtida. Diversas são as formas nas quais os dados de podem ser obtidos, como medições instantâneas com equipamentos portáteis, informações de projetos e balanços de massa e energia. A esses dados foi associado um grau de incerteza de acordo a forma com a qual a informação foi obtida. A escala de valores de Qualidade de Informação utilizada está mostrada na Figura 1.



2,6-BPNB - Balanço de Massa e Energia do Projeto Nível B
2,9-PNB - Projeto de Nível B
3,7-BPNA - Balanço de Massa e Energia do Projeto Nível A
4,1-PNA - Projeto Nível A
5,2-BMP - Balanço de Massa e Energia da Medida Precária
5,7-MP - Medida Precária
7,2-BMI / SNO - Balanço de Massa e Energia da Medição Instantânea / Sistema normal de Operação
8,0-MI / SNO - Medição Instantânea / Sistema normal de Operação
9,0-BMT - Balanço de Massa e Energia da Medida Totalizada
10,0-MT - Medida Totalizada

Figura 1. Valores de QI usados no Balanço Hídrico

Uma das vantagens desta ferramenta é a possibilidade de compor o balanço hídrico com os dados de vazões disponíveis, sem se preocupar, inicialmente, se essas correntes são retratos das condições operacionais. A partir do balanço hídrico montado com as vazões associadas ao seu QI, a próxima etapa é a melhoria de QI global através da identificação de pontos críticos que necessitam de melhoria de QI, ou seja, identificação dos pontos que precisam ser medidos e/ou terem seu instrumento de medida calibrado ou substituído por um de menor incerteza, para se obter resultados mais confiáveis no Balanço Hídrico (Fontana, 2004).



RECONCILIAÇÃO DE DADOS.

As informações obtidas na planta industrial nem sempre estão coerentes com a realidade. Isso acontece devido à variabilidade dos dados coletados, no desconhecimento de alguma informação, má interpretação dos dados ou inconsistências desses. As totalizações de entradas e saídas dos equipamentos de processo, considerando acumulações como tanques, estão sempre numa situação de balanço matemático, mas as medidas coletada não (Seixas et al., 2003). Essas inconsistências se devem aos instrumentos descalibrados, leituras feitas fora da faixa do instrumento, erro de transmissão dos sinais, entre outros.

Para evitar equívocos, é feita a reconciliação de dados. O seu resultado trará as informações com uma coerência maior do que se fossem utilizados sem tratamento prévio. Essa parte do tratamento de dados é de suma importância, pois são esses dados que irão balizar as decisões da empresa.

A reconciliação de dados é um algoritmo que permite ajustar valores conhecidos, em função da incerteza e das restrições do sistema, baseando-se na minimização da função objetivo apresentada na Equação 1. Para isso, as devidas restrições operacionais levantadas são inseridas para que o conjunto dos dados seja gerado com a devida coerência com a realidade do sistema. Também são incluídas, além das equações dos balanços (global e por unidades de produção) e as restrições operacionais, as equações de distribuição e consumo dos diversos tipos de água, vapores e condensados entre as unidades.

$$Fo = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\text{Valor}_{\text{medido}} - \text{Valor}_{\text{reconciliado}}}{\text{Incerteza}} \right]^2 \quad \text{equação (1)}$$

A Equação 1, a função objetivo usada na reconciliação (Seixas et al. 2003) é minimizada usando métodos computacionais ou analíticos. Porém para reconciliar não basta a minimização da função objetivo, as equações de restrição estabelecidas devem ser obedecidas. As restrições são de três tipos:

- balanço, que são as equações de balanço mássico;
- não-negatividade, que garante que não haverá vazões negativas;
- operacionais, expõem a realidade da operação, como vazões máximas e mínimas de determinadas correntes.

A dificuldade no uso da formulação típica de um problema de reconciliação de dados está na necessidade de conhecer-se a variância dos dados experimentais (Crowe 1986). Para contornar esse problema, a metodologia desenvolvida propõe o uso da formulação apresentada na Equação 2 como função objetivo a ser minimizada, em que se considera a QI com comportamento inverso à incerteza. Assim, não sendo todas as vazões medidas, aquelas que não possuem medidas diretas são atribuídos valores estimados, portanto todas as vazões são conhecidas ou mapeadas com diferentes graus de confiança, baseados no conhecimento da planta e à forma de obtenção desse valor.

$$\min_{V_R} \sum_{i=1}^N \left[(V_{Ri} - V_{Mi})^2 \cdot \frac{QI_i^2}{V_{Mi}^2} \right] \quad \text{equação (2)}$$

$$\sum_{i=1}^{NE} V_{Rin_i} - V_{Rout_i} = 0$$

onde, VR e VM são as vazões reconciliadas e mapeadas (medidas ou estimadas), respectivamente, referentes à corrente i; QI é a qualidade de informação referente a cada corrente i; N é o número de correntes envolvidas. NE é o número de equipamentos, unidades ou nós, nos quais serão aplicados as equações dos balanços de massa.

O problema de otimização, representado pela Equação 2, pode ser solucionado utilizando diferentes softwares existentes, por exemplo, Solver do Excel® e o Matlab®.

A análise da Equação 2 permite visualizar a relação inversa do QI e a incerteza, ou seja, menor a incerteza da medida, maior a confiança no seu valor e maior valor de QI dessa variável.



METODOLOGIA

A metodologia do Balanço Hídrico, desenvolvida juntamente com o conceito de QI-Qualidade de Informação, para superar a dificuldade de gerenciamento dos sistemas de distribuição de água e coleta de efluente na indústria devido à falta de medição. Ela permite um gradativo avanço do nível de conhecimento necessário para poder gerenciar as informações com um acompanhamento em relação a uma incerteza padronizada.

A cada uma das correntes é atribuída uma QI entre 0,01 e 10. A nota 0,01 é atribuída a uma informação precária sobre uma corrente, o que raramente acontece ou pode ser superado facilmente.

Para correntes derivadas de outras correntes o QI estimado é a média ponderada dos QI's antecessores. A avaliação do valor desse novo QI é calcular ponderando vazão e valor de QI das correntes conhecidas, de acordo com a Equação 3.

$$QI_{\text{ponderado}} = \frac{\sum_{i=1}^N QI_i \cdot V_i}{\sum_{i=1}^N V_i}$$

equação (3)

onde, QI é qualidade de informação da vazão i; V é o valor de vazão i; i refere-se à corrente associada ao dado de vazão; N é o número de correntes envolvidas. Outra possibilidade para estimar a incerteza de uma variável é através da lei de propagação de incertezas.

O estudo dos fluxos de massa compostos por correntes aquosas na forma de água, vapor, condensado e efluente, feitos no Balanço Hídrico, permite traçar o perfil de consumo de água e uma melhor gestão desse recurso. Para tanto, os dados de vazão devem ser obtidos, preferencialmente, por meio de sistemas de medição calibrados. Quando isto não é possível, uma estimativa da vazão é obtida por meio de balanço de massa, dados de projeto, estimativas teóricas, simulação ou informações coletadas na unidade através de entrevista com as pessoas que convivem na área industrial. Esses dados de vazão irão preencher a primeira planilha do Balanço, a Entrada de dados. A função dessa planilha é apenas receber os dados de vazão e qualidade de informação (QI), nenhum cálculo é realizado nessa planilha, bem como, informações e detalhes sobre os equipamentos, características da corrente que circula no equipamento além da identificação do equipamento totalizador de medição da corrente, se assim existir, para a corrente e o equipamento em estudo.

O Balanço Hídrico é composto por outras três planilhas: o balanço hídrico avaliado no volume de controle da unidade em estudo, na qual cada corrente apresenta o seu valor de vazão correspondente; outra muito similar a anterior cuja diferença está na célula que contém o valor de vazão que passará a conter a qualidade de informação associada a cada vazão e por último uma planilha relatório contendo a descrição das correntes de entrada e saída das unidades, com o valor de vazão reconciliadas e brutas, e QI correspondentes.

Como todos os dados foram vinculados com as planilhas contendo o fluxograma de vazão e o fluxograma de QI, as atualizações destes fluxogramas tornam-se automáticas, bastando atualizar a entrada de dados. Para facilitar a atualização dos dados foi inserida uma coluna denominada fonte, na qual se especifica a origem do dado. Caso ocorra alguma mudança no período de referência dos dados ou então forem feitas melhorias na qualidade de informação a atualização desses dados será automática, representando uma das principais vantagens do balanço hídrico. (Fontana, 2004).

O Balanço Hídrico pode ser avaliado através da planilha relatório. Onde todas as correntes de entrada e saída de cada uma das unidades ou áreas foram descritas e associadas aos seus respectivos valores de vazão e QI.

A partir das informações contidas na planilha relatório é possível avaliar quais as correntes do balanço, que melhorando o QI, acarretariam numa melhoria significativa no balanço hídrico. Portanto, serve de referência para a escolha de quais correntes devem ser priorizadas na etapa de melhoria de QI, ou seja, é possível identificar as correntes que devem ser medidas de forma eficiente e confiável (Fontana, 2004).

Todos os dados de vazão que compõem os Balanços Hídricos são compilados nas planilhas eletrônicas e representados na forma de diagrama de blocos. Cada bloco representa uma unidade de produção ou mesmo cada equipamento (identificado através do seu código de identificação na empresa), cada linha que conecta esses blocos indica o fluxo de correntes aquosas que entram ou saem e as setas indicam o sentido desses



fluxos. As linhas são representadas diferentemente conforme o tipo de corrente, tracejadas, coloridas sendo identificadas conforme legenda. A Figura 2 ilustra o Balanço Hídrico na sua forma mais macro, enquanto na Figura 3 ele é apresentado de forma micro, onde o detalhamento chega ao nível dos equipamentos.

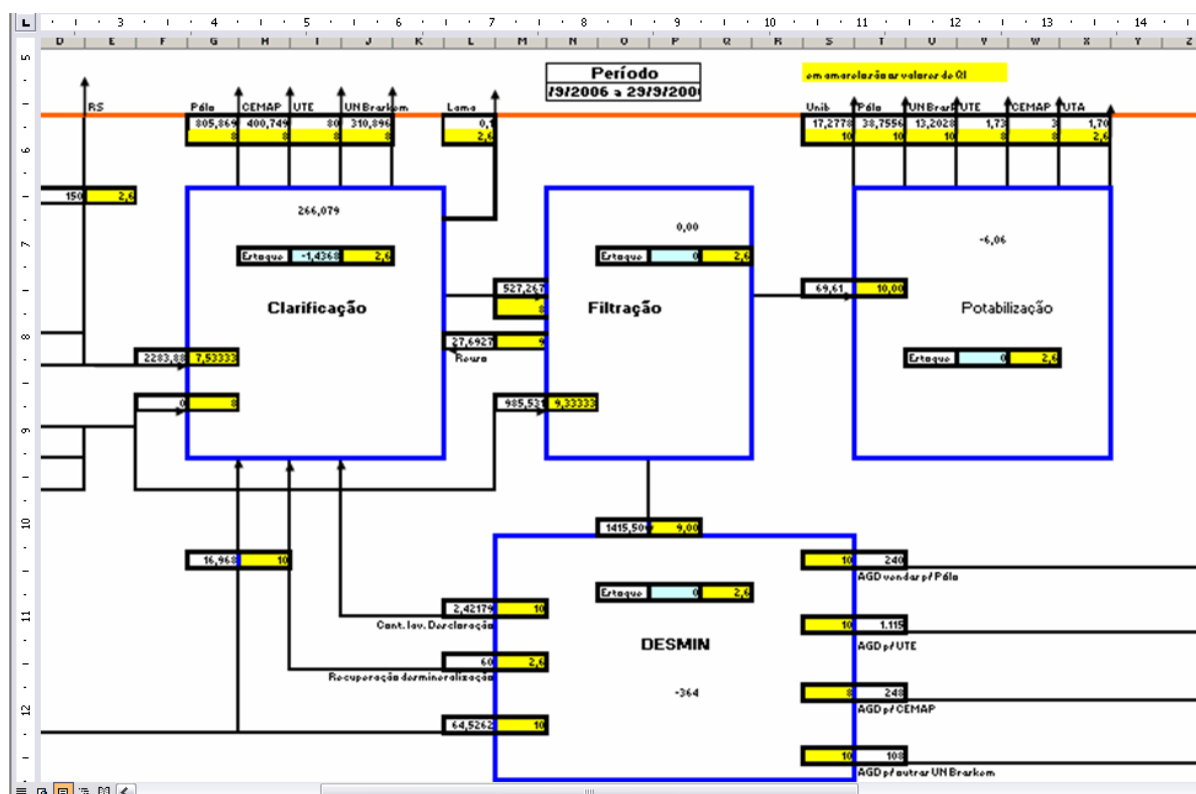


Figura 2. Planilha eletrônica do Balanço Hídrico.

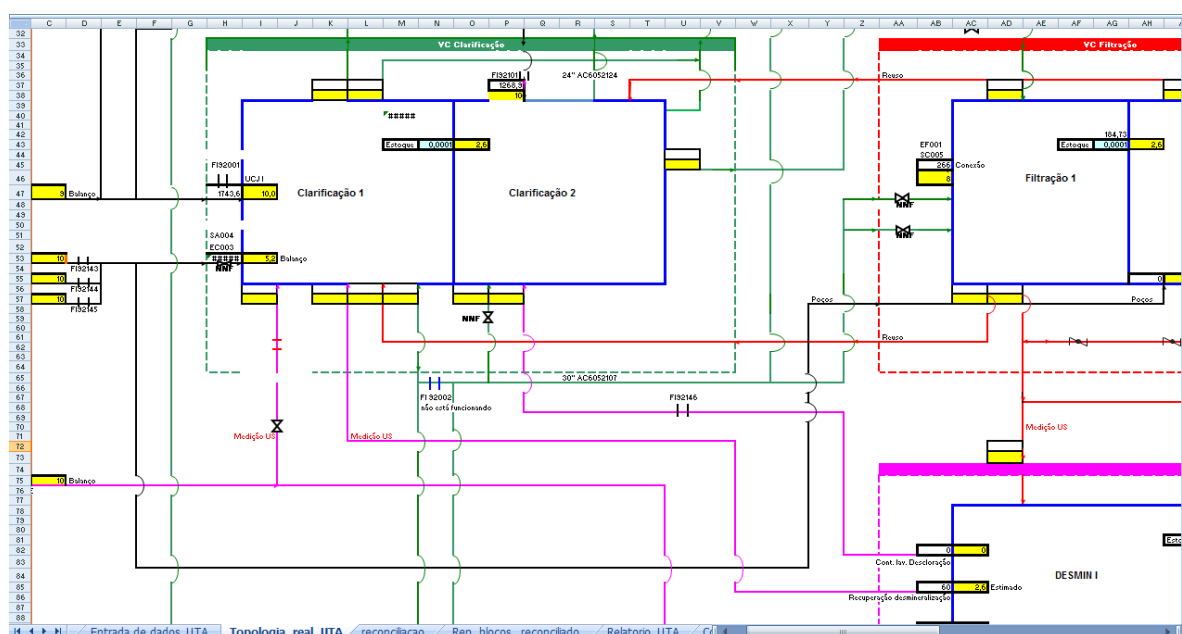


Figura 3. Planilha eletrônica do Balanço Hídrico por Unidade.

Uma forma de garantir que as informações atendam as restrições determinado no processo, o desvio seja zero, e melhorar a distribuição das incertezas existentes, consiste na aplicação da reconciliação de dados das vazões mapeadas. A partir dos dados de vazão associados à sua qualidade – QI –, a reconciliação de dados busca novos valores de vazão que possam satisfazer as equações de balanço de massa por meio de técnicas de



otimização matemática, as quais minimizam a diferença entre os valores originais e os valores reconciliados de vazão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O principal resultado do trabalho é a ferramenta computacional que auxilia a construção e o gerenciamento do balanço hídrico da empresa e executa a reconciliação de dados das vazões usando, no lugar do desvio padrão, a qualidade de informação. O uso da qualidade de informação viabilizou a implementação da reconciliação de dados no balanço hídrico, um sistema que se caracteriza por não ter muitas medições. A qualidade de informação permitiu aplicar os conceitos de tecnologia limpa na área industrial, servindo como um instrumento para a popularização dos conceitos acadêmicos no meio industrial, desde operadores até engenheiros.

O uso dessa ferramenta pela empresa permitiu a redução do consumo de água e geração de efluentes. Essa redução foi conseguida devido às mudanças nos aspectos culturais onde houve uma grande interação com a empresa permitindo discutir técnicas e práticas operacionais, no aspecto tecnológico, com o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que auxilia numa melhor gestão da água. Essas mudanças refletiram numa redução de custos para a empresa, já que houve um aumento de 16% na produção de petroquímicos enquanto a geração de efluentes diminuiu em 40% e o consumo de água reduziu em 2,5% desde a implantação do Balanço Hídrico.

A construção do Balanço Hídrico na unidade de tratamento de água de uma indústria petroquímica possibilitou um melhor conhecimento do sistema no que se refere à topologia e como consequência exigiu também uma melhor análise das vazões existentes e da forma que elas são medidas. Para o desenvolvimento da tabela com a qualidade de informação foi necessário que as pessoas que são responsáveis pelo funcionamento da planta discutissem cada ponto do sistema. De acordo com os valores de QI mostrados na Figura 1, estão classificadas as 58 correntes identificadas no Balanço Hídrico de uma unidade de tratamento de água (UTA) de uma unidade industrial. Na Figura 4 está apresentada a divisão das correntes identificadas segundo a sua qualidade de informação.

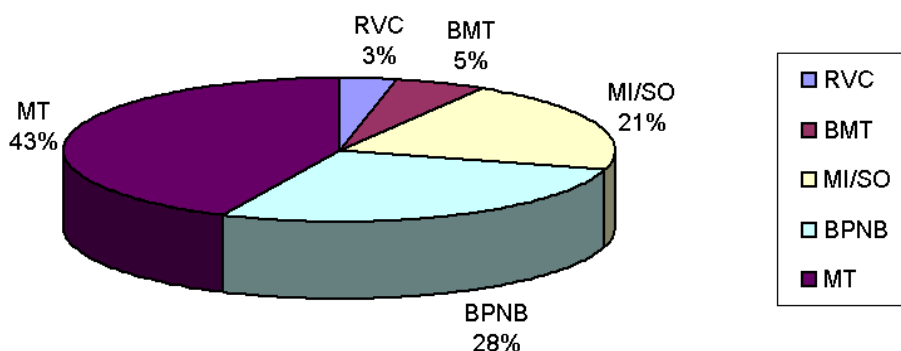


Figura 4. Distribuição das correntes identificadas em relação às suas qualidades de informações 2006.

Como é possível perceber na Figura 5 menos da metade das correntes da unidade de tratamento são medidas por equipamentos calibrados. Assim, sem o auxílio da ferramenta Balanço Hídrico não seria possível traçar o perfil de consumo de água nem se a forma que ela está sendo utilizada é a mais adequada, aquela que gera menos efluente e desperdícios.

A qualidade de informação é de suma importância pra reconciliação, pois sem ela tornaria mais difícil devido a falta de medição do sistema de água e a conseqüente falta de uma incerteza de medição (KIPERSTOK et al, 2003). Durante o levantamento das correntes não foi possível obter as incertezas das poucas medições existentes - para reconciliar os dados pela metodologia tradicional é necessário conhecer as incertezas das medições. Para tornar a reconciliação viável surge o conceito de QI que possibilita que quaisquer correntes, com ou sem medições, sejam usadas no Balanço Hídrico. Aquelas que apresentam menor QI podem ser obtidas por meio de balanço, valores de projetos, por exemplo.



Com todos os dados de vazão de água, entradas e saídas, da UTA e QI das correntes contabilizadas no Balanço Hídrico foi possível traçar o perfil de consumo e geração de efluentes. O passo seguinte foi a reconciliação dos dados do Balanço Hídrico da UTA. O resultado da reconciliação do Balanço Hídrico da unidade de tratamento, como está apresentado na Figura 5.

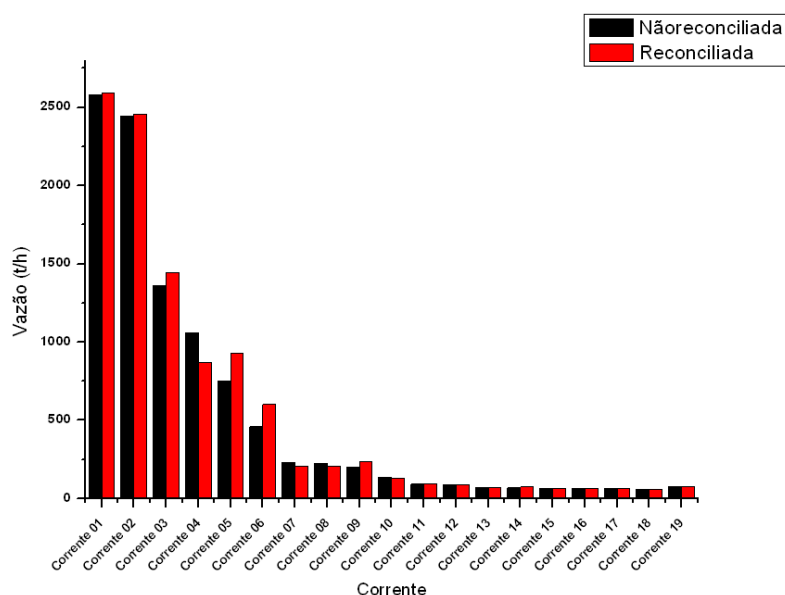


Figura 5. Comparação entre as vazões não-reconciliadas e reconciliadas.

A diferença entre os resultados antes e depois da reconciliação indica que alguns medidores estão com um mau funcionamento ou que há vazamento em alguma parte do sistema. Além de identificar na unidade de tratamento qual processo que estava consumindo mais quantidade de água. Pode-se também, a partir desses resultados, concluir que a otimização no processo de tratamento de água seria mais significativa na redução do consumo e geração de efluentes do que a identificação dos vazamentos e/ou mau funcionamento dos medidores.

A utilização dessa ferramenta para gerenciar o consumo de água na unidade ainda está sendo implementada para utilização por engenheiros e operadores. A integração das planilhas do Balanço Hídrico com o sistema de obtenção de dados usado pela empresa, o PIMS (Process Information Management System) torna a reconciliação dos em tempo real e possibilita a tomada de decisões mais segura, pois está baseada em dados atuais e confiáveis.

O Balanço Hídrico é uma ferramenta simples, dinâmica e bastante útil. Mudanças na operação da unidade não implicam no seu desuso, pois essas podem ser incorporadas ao Balanço sem maiores comprometimentos.

CONCLUSÃO

Essa ferramenta permite a obtenção de informações de forma rápida e coerente. Permite que decisões sejam tomadas a partir de um maior conhecimento do sistema, portanto possibilita uma maior assertividade nas mesmas. Evidencia a possibilidade de geração de ações que diminuam o consumo de água na indústria, reduzindo assim o impacto ambiental. Além de tornar viável a reconciliação de dados em sistemas em que há poucas medições e/ou medidas pouco confiáveis. O Balanço Hídrico permite, ainda, orientar uma política de melhoria gradativa da qualidade da informação referente aos fluxos de água na empresa, sendo que os dados dos balanços hídricos são submetidos a técnicas de reconciliação de dados para melhorar a distribuição das incertezas existentes.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, FINEP e a UFBA pelo apoio e incentivo à construção desse trabalho.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BICH, W. Uma introdução ao guia para expressão da Incerteza de Medição (GUM). Duque de Caxias: INMETRO, 2007.
2. CROWE, C. M., Reconciliation of Process Flow Rates by Matrix Projection. *AIChE Journal*, v. 32 n° 4 p.616-623, abril 1986.
3. KIPERSTOK,A; KALID,R.; SALES,E.; ESQUERRE,K.; SOUZA,L; MATOS,M.C.; CARVALHO,E; TEIXEIRA,L.;BRAGA,B;ASSIS,B.;SILVA,S.;MENDES,C.;PIRES,V.M.;MOCOCAIN,F.;HORTÉLIO, S.; ANDRADE,S. “Metodologia Teclim e o Projeto Ecobraskem: Otimização Ambiental do Uso da Água e Geração de Efluentes.TECBAHIA, v.23, n.1-3,jan-dez.2008 .
4. FONTANA. D., KALID, R., SARTORI, I., KIPERSTOK. A., SILVA. M., SALES. E.A., PACHECO FILHO. J.G., OLIVEIRA. S., PERAZZO. C. Balanço hídrico – Uma nova sistemática. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE TERMODINÂMICA APLICADA, Curitiba, Brasil, 2004.
5. KIPERSTOK, A., SILVA, M., KALID, R. A., SALES, E. PACHECO FILHO, J. G., OLIVEIRA, S., PERAZZO, C., FONTANA D. “Minimização do uso da água na indústria através da parceria entre universidade e empresas: o Projeto Braskem - Água”. *Bahia Análise e Dados*, v. 13, p.557-566. Bahia, Brasil, 2003.
6. MARQUES, José Antônio. Reconciliação de dados na identificação e caracterização de balanços hídricos em plantas industriais. Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro,Rio de Janeiro, Brasil,abril 2006.
7. NARASIMHAN, S., JORDACHE, C. Data reconciliation & gross error detection. An Intelligent use of process data.
8. SEIXAS, C., SZUSTER, M. Programação Concorrente em ambiente WNT: Uma visão de automação, Editora da UFMG, 2003.
9. VUOLO, J. H., Fundamentos da teoria dos Erros, Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1995.